

К.П. ЗУБАРЕВ^{1,2,3}, Ю.А. САПРОНОВА¹, З.Р. АЛИХАНОВА¹, Ю.С. ЗОБНИНА¹, Ф.А. БУДНИК¹, В.Д. ФЕДОСЕЕВ¹

¹ Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия

² Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук, г. Москва, Россия

³ Российский университет дружбы народов, г. Москва, Россия

НЕСТАЦИОНАРНОЕ ТЕМПЕРАТУРНОЕ ПОЛЕ СТЕН ЗДАНИЙ ПРИ ЗНАЧЕНИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ВЛАЖНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Аннотация. В представленной работе исследовано нестационарное температурное поле в однослойной кирпичной ограждающей конструкции стены здания. Для моделирования нестационарного температурного поля стены здания было решено дифференциальное уравнение теплопроводности методом конечных разностей по явной разностной схеме с учетом краевых условий третьего рода. Приведена формула, по которой можно рассчитать значение эксплуатационной теплопроводности при известном значении эксплуатационной влажности строительного материала. Для расчетов приняты однослойные ограждающие кирпичные конструкции с толщинами оснований равными 0,12 м, 0,25 м и 0,51 м в городе Москве. Представлены результаты расчета температур в сечениях ограждающих конструкций с течением времени при значении теплопроводности, выбранном согласно нормативному документу. Также представлено время, за которое в ограждающей конструкции устанавливается стационарное температурное поле. Для кирпичных стен определено время наступления стационара при температуре наружного воздуха равной температуре наиболее холодной пятидневки.

Ключевые слова: нестационарное температурное поле, теплопроводность, дифференциальное уравнение теплопроводности, метод конечных разностей, граничные условия третьего рода

K.P. ZUBAREV^{1, 2, 3}, Y.A. SAPRONOVA¹, Z.R. ALIKHANOVA¹, Y.S. ZOBININA¹, F.A. BUDNIK¹, V.D. FEDOSEEV¹

¹ National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

² Research Institute of Building Physics of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Moscow, Russia

³ RUDN University, Moscow, Russia

UNSTEADY-STATE TEMPERATURE FIELD OF BUILDING WALLS USING BUILDING MATERIALS OPERATING MOISTURE VALUES

Abstract. In the presented work, the unsteady-state temperature field in the single-layer brick building wall enclosing structure was investigated. To model the nonstationary temperature field of the building wall, the differential equation of thermal conductivity was solved by the finite difference method using an explicit difference scheme, taking into account boundary conditions of the third kind. The formula using to calculate the value of operational thermal conductivity at the known value of operational moisture of building materials is given.

For the calculations, single-layer enclosing brick structures with base thicknesses of 0.12 m, 0.25 m and 0.51 m in Moscow were adopted. The results of calculating temperatures in sections of enclosing structures over time at a thermal conductivity value selected in accordance with the regulatory document are presented. The time establishing stationary temperature field is presented.

For brick walls, the time of the stationary state was determined when the outside air temperature is equal to the temperature of the coldest five-day period.

Keywords: *unsteady-state temperature field, thermal conductivity, differential equation of thermal conductivity, finite difference method, boundary conditions of the third kind*

1. Введение

При проектировании зданий и сооружений инженеры просчитывают конструкции на разные нагрузки и воздействия: сейсмические [1–3], ветровые [4–6], а также на температурные [7–10]. Расчет на распределение температуры в ограждающей конструкции важен, так как от этого будет зависеть комфорт людей, которые будут проживать в помещениях [11–15].

Так как расчет на температурные воздействия является важным, то это приводит к тому, что ученые разрабатывают математические модели, при помощи которых возможно получить точные значения температур в различных сечениях конструкции на разные моменты времени. В основу математической модели теплопереноса заложено дифференциальное уравнение теплопроводности. Были предложены различные решения дифференциального уравнения при постановке разных граничных условий [16]. Подробно исследовано температурное состояние многослойных ограждающих конструкций при воздействии низких температур [17–23]. Однако необходимо продолжать исследования нестационарного теплового поля в ограждающих однослойных конструкциях под воздействием массовой влажности строительных материалов [24–32].

Задача исследования

1. Определение времени выхода температурного поля стены здания на стационарный режим при понижении температуры наружного воздуха со значения температуры наиболее холодного месяца до значения температуры наиболее холодной пятидневки при различных значениях теплопроводности.

2. Оценка влияния эксплуатационной влажности строительных материалов стены здания на время выхода ограждающей конструкции на стационарный температурный режим.

2. Материалы и методы

Для моделирования нестационарного температурного поля ограждающей конструкции используется дифференциальное уравнение теплопроводности в одномерной постановке. Начальное распределение температуры имеет вид прямой, которая проводится между значениями температур воздуха снаружи, которая принимается равной температуре самого холодного месяца, и температурой внутреннего воздуха принимаемой 20 °С. При расчете теплового поля конструкции снаружи ставится температура воздуха равная температуре холодной пятидневки и также задаются граничные условия третьего рода.

В одномерной постановке задачи плотность потока теплоты определяется законом Фурье:

$$q = -\lambda \frac{\partial t}{\partial x}. \quad (1)$$

где q – плотность потока теплоты, Вт/м²; λ – теплопроводность материала ограждающей конструкции, Вт/(м·°С); t – температура, °С; x – координата, м.

Соотношение между градиентом потока теплоты по координате и градиентом температуры следует из закона сохранения энергии:

$$c \cdot \rho_0 \frac{\partial t}{\partial \tau} = -\frac{\partial q}{\partial x}. \quad (2)$$

где c – теплоемкость материала ограждающей конструкции, Дж/(кг·°C); ρ_0 – плотность материала ограждающей конструкции в сухом состоянии, кг/м³; τ – время, с.

Подставим (1) в (2):

$$c \cdot \rho_0 \frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial t}{\partial x} \right). \quad (3)$$

Так как теплопроводность не зависит от сечения однослойного ограждения, вынесем теплопроводность материала за знак дифференциала и поделим на теплоемкость и плотность, получим выражение:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\lambda}{c \cdot \rho_0} \frac{\partial^2 t}{\partial x^2}. \quad (3.1)$$

Дифференциальное уравнение теплопроводности в одномерной задаче записывается в виде:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 t}{\partial x^2}. \quad (4)$$

Для решения дифференциального уравнения теплопроводности воспользуемся методом конечных разностей по явной разностной схеме. Зададим пространственно – временную область, на которой обозначим оси времени и координаты. Далее для решения задачи произведем дискретизацию пространственно-временной области (см. рисунок 1).

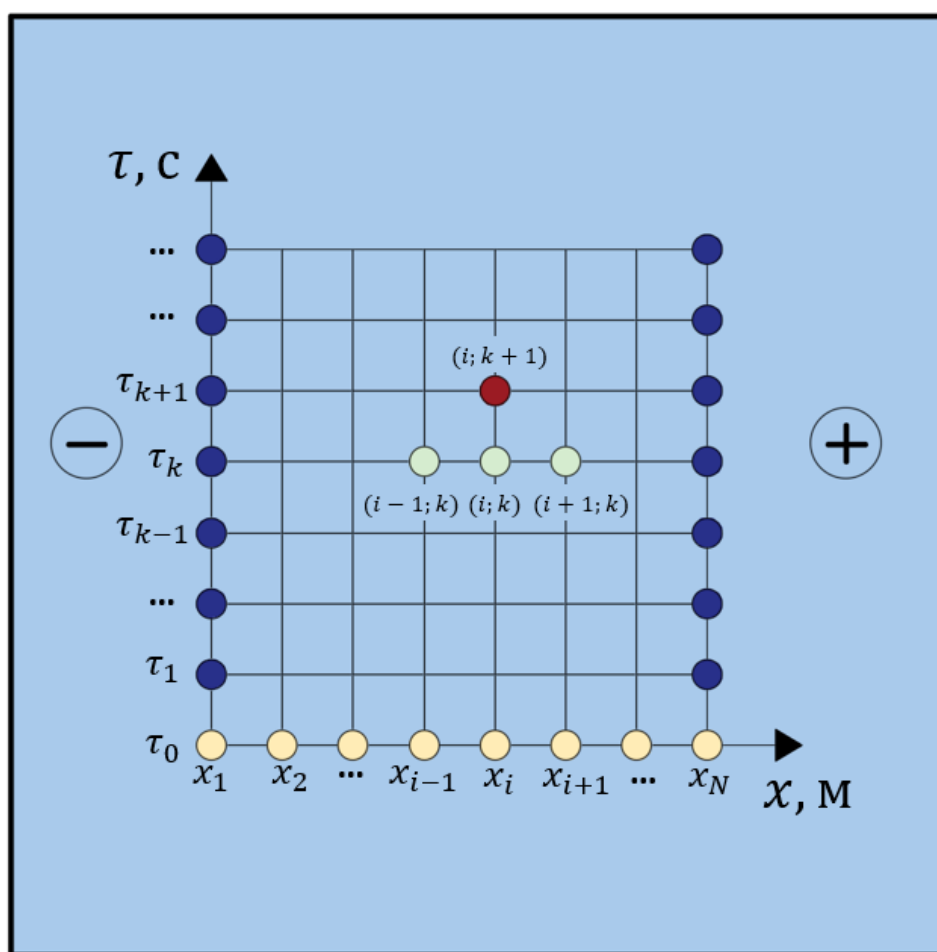


Рисунок 1 – Дискретизация пространственно-временной области
 i – номер узла по толщине сетки, k – номер узла по времени

Сведем производные, входящие в дифференциальное уравнение теплопроводности к разностным соотношениям. Запишем правую разность для внутренней точки:

$$\frac{\partial t}{\partial x} = \frac{t_{i+1} - t_i}{h}. \quad (5)$$

Запишем левую разность для внутренней точки:

$$\frac{\partial t}{\partial x} = \frac{t_i - t_{i-1}}{h}. \quad (6)$$

Сделаем аппроксимацию второй производной при помощи вычитания из правой разности левой, тогда получим выражение для центральной разности:

$$\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} = \frac{t_{i-1} - 2 \cdot t_i + t_{i+1}}{h^2}. \quad (7)$$

Раскроем левую часть и подставим выражение (8) в уравнение (4):

$$t_i^{k+1} = t_i^k + \frac{\tau \cdot a}{h^2} (t_{i-1} - 2 \cdot t_i + t_{i+1}). \quad (8)$$

Таким образом. Если известна температура t_i^k для всех сечений, то можно получить температуру t_i^{k+1} в любом сечении конструкции.

Используем граничные условия третьего рода. Необходимо задать граничные условия в виде теплообмена между наружным воздухом и наружной поверхностью ограждающей конструкции в виде выражения:

$$-\lambda \frac{\partial t}{\partial x} \Big|_{i=1} = \alpha_n (t_n - t_1). \quad (9)$$

Аналогично задается граничное условие теплообмена между внутренней поверхностью ограждающей конструкции и внутренним воздухом:

$$-\lambda \frac{\partial t}{\partial x} \Big|_{i=N} = \alpha_s (t_s - t_N). \quad (10)$$

где α_n – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции, Вт/(м²·°C); t_n – температура наружного воздуха, °C; t_1 – температура сечения, которое соприкасается с наружным воздухом; α_s – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, Вт/(м·°C); t_s – температура внутреннего воздуха, °C; t_N – температура сечения, которое соприкасается с внутренним воздухом, °C; l – толщина ограждающей конструкции, м.

Раскроем скобки в выражении (9), поделим обе части уравнения на теплопроводность получим выражение граничного условия третьего рода теплообмена между наружным воздухом и наружной поверхностью:

$$\frac{\partial t}{\partial x} \Big|_{i=1} = \frac{\alpha_n}{\lambda} t_1 - \frac{\alpha_n}{\lambda} t_n. \quad (11)$$

Используя метод конечных разностей, разложим по левой разности:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{a}{h} \left(\frac{\partial t}{\partial x} \Big|_{i=2} - \frac{\partial t}{\partial x} \Big|_{i=1} \right). \quad (12)$$

Подставим граничные условия третьего рода (12) и разложим левую разность:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{a}{h} \left(\frac{t_2^k - t_1^k}{h} - \frac{\alpha_n}{\lambda} t_1 + \frac{\alpha_n}{\lambda} t_n \right). \quad (13)$$

Вынесем за скобки шаг по координате и преобразуем выражение:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{a}{h^2} \left(-\left(1 + \frac{\alpha_n}{\lambda} h\right) \cdot t_1^k + t_2^k \right) + \frac{a}{h^2} \cdot \frac{\alpha_n}{\lambda} h \cdot t_n^k. \quad (14)$$

Разложим левую часть равенства по методу конечных разностей:

$$\frac{t_1^{k+1} - t_1^k}{\tau} = \frac{a}{h^2} \left(-\left(1 + \frac{\alpha_n}{\lambda} h\right) \cdot t_1^k + t_2^k \right) + \frac{a}{h^2} \cdot \frac{\alpha_n}{\lambda} h \cdot t_n^k. \quad (15)$$

Преобразуем равенство и получим выражение для температуры между наружным воздухом и наружной поверхностью ограждающей конструкции:

$$t_1^{k+1} = t_1^k + \frac{\tau \cdot a}{h^2} \left(-\left(1 + \frac{\alpha_n}{\lambda} h\right) \cdot t_1^k + t_2^k \right) + \frac{\tau \cdot a}{h^2} \cdot \frac{\alpha_n}{\lambda} h \cdot t_n^k. \quad (16)$$

Аналогично выводится выражение для определения температуры между внутренним воздухом и внутренней поверхностью ограждающей конструкции. Запишем уравнения в систему:

$$\begin{cases} t_1^{k+1} = t_1^k + \frac{\tau \cdot a}{h^2} \left(-\left(1 + \frac{\alpha_n}{\lambda} h\right) \cdot t_1^k + t_2^k \right) + \frac{\tau \cdot a}{h^2} \cdot \frac{\alpha_n}{\lambda} h \cdot t_n^k \\ t_i = t_i^k + \frac{\tau \cdot a}{h^2} (t_{i-1}^k - 2 \cdot t_i^k + t_{i+1}^k) \\ t_N^k = t_N^k + \frac{\tau \cdot a}{h^2} (t_{N-1}^k - \left(1 + \frac{\alpha_6}{\lambda} h\right) \cdot t_N^k) + \frac{\tau \cdot a}{h^2} \cdot \frac{\alpha_6}{\lambda} h \cdot t_6^k \end{cases}. \quad (17)$$

Также данную систему можно записать через сопротивление теплоотдачи между воздухом и наружной поверхностью ограждающей конструкции и между воздухом и внутренней поверхностью ограждающей конструкции, которые можно расписать по соответствующим формулам:

$$\begin{cases} R_{n,6} = \frac{1}{\alpha_n} \\ R_{6,6} = \frac{1}{\alpha_6} \end{cases}. \quad (18)$$

Подставим выражения (18) в систему уравнений (17) получим следующие выражения:

$$\begin{cases} t_1^{k+1} = t_1^k + \frac{\tau \cdot a}{h^2} \left(-\left(1 + \frac{1}{\lambda \cdot R_{n,6}} h\right) \cdot t_1^k + t_2^k \right) + \frac{\tau \cdot a}{h^2} \cdot \frac{1}{\lambda \cdot R_{n,6}} h \cdot t_n^k \\ t_i = t_i^k + \frac{\tau \cdot a}{h^2} (t_{i-1}^k - 2 \cdot t_i^k + t_{i+1}^k) \\ t_N^k = t_N^k + \frac{\tau \cdot a}{h^2} (t_{N-1}^k - \left(1 + \frac{1}{\lambda \cdot R_{6,6}} h\right) \cdot t_N^k) + \frac{\tau \cdot a}{h^2} \cdot \frac{1}{\lambda \cdot R_{6,6}} h \cdot t_6^k \end{cases}. \quad (19)$$

В результате получена система уравнений позволяющая получить значения температур в однослойной ограждающей конструкции с учетом граничных условий третьего рода.

Однако влажность строительных материалов может изменяться со временем, что приводит к изменению теплопроводности. В нормативных документах приводятся значения теплопроводности эксплуатации А и Б в случае. Чтобы найти влажность материала в рассматриваемый промежуток времени, нужно решить дифференциальное уравнение влагопереноса.

Так как нам известны значения теплопроводностей и влажностей при эксплуатации А и Б, то можно построить график зависимости теплопроводности от влажности материала (рисунок 2).

Очевидно, что зависимость – линейная, следовательно ее можно представить в виде формулы:

$$\lambda_w = \lambda_0 + w_{\text{экс}} \cdot \Delta\lambda_w. \quad (20)$$

где λ_w – теплопроводность материала при определенной влажности, Вт/(м·°С);

λ_0 – теплопроводность материала в сухом состоянии, Вт/(м·°С);

$w_{\text{экс}}$ – эксплуатационное значение влажности материала, %.

В результате по найденной зависимости можно определить значение эксплуатационной теплопроводности, при известном значении эксплуатационной влажности строительного материала.

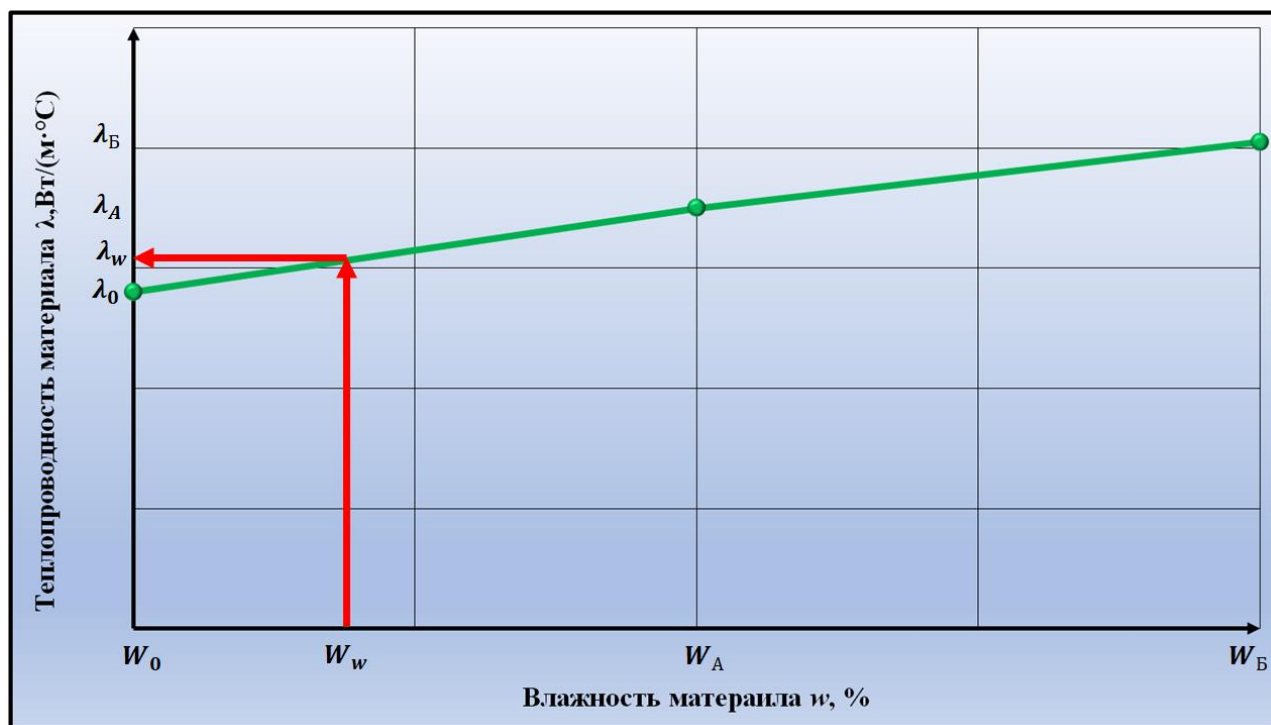


Рисунок 2 – Зависимость теплопроводности от влажности материала

3. Результаты и обсуждения

Рассмотрим ограждающую конструкцию, основание которой выполнено в виде кладки из глиняного обыкновенного кирпича на цементно-песчаном растворе. Данная конструкция будет расположена в городе Москве. Согласно российскому нормативному документу СП 50.13330.2012 рассматриваемый город находится в нормальной зоне влажности, следовательно значение влажности материалов принимается равным 2%, а значение теплопроводности 0,81 Вт/(м·°С).

Рассмотрим серию стен с разными толщинами оснований: 0,12 м, 0,25 м, 0,51 м. Согласно российскому нормативному документу СП 131.13330.2020 определим требуемые для расчета значения температур. Температура воздуха наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью 0,92: -26 °С; среднемесячная температура холодного месяца: -7,8 °С. Внутри помещения температура воздуха поддерживается равной 20 °С.

Рассмотрим ограждающую конструкцию с основанием 0,12 м. Поделим основание на 6 частей. Начальное распределение температуры зададим между среднемесячной температурой холодного месяца и температурой внутреннего воздуха (см. таблицу 1).

Таблица 1 – Начальное распределение температуры в ограждающей конструкции с основанием 0,12 м.

Номер сечения	1	2	3	4	5	6	7
Значение температуры, °C	-3,86	-1,62	0,62	2,86	5,09	7,34	9,58

Теперь задается температура наружного воздуха, которая равна температуре воздуха наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью 0,92. Нахождение температур производится согласно системе уравнений (17) с учетом граничных условий третьего рода. Шаг по времени был выбран 60 секунд. В результате в ограждающей конструкции установится стационарное тепловое поле спустя 86940 секунд или за 24,15 часов. Результаты температур стационарного теплового поля представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Значения температур при достижении стационара в ограждающей конструкции с основанием

Номер сечения	1	2	3	4	5	6	7
Значение температуры, °C	-19,48	-15,77	-12,07	-8,36	-4,66	-0,95	2,75

Распределение температуры в сечениях кирпичной ограждающей конструкции с основанием 0, 12 м с течением времени показано на рисунке 3.

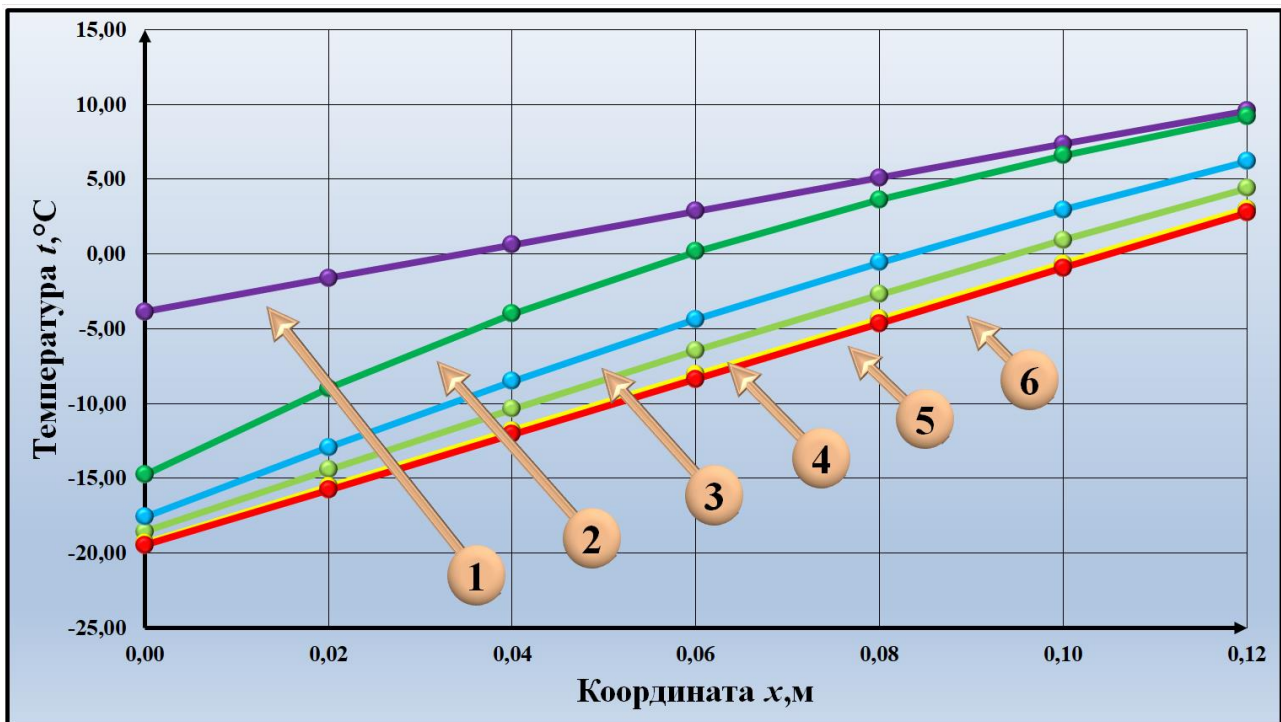


Рисунок 3 – Распределение температуры в сечениях ограждающей кирпичной конструкции с основанием 0,12 м с течением времени

1 – начальное распределение температуры; 2 – значения температур в сечениях через 1 час; 3 – значения температур в сечениях через 3 часа; 4 – значения температур в сечениях через 5 часов; 5 – значения температур в сечениях через 10 часов; 6 – значения температур в сечениях при достижении стационара

Рассмотрим ограждающую кирпичную конструкцию с основанием 0,25 м. Поделим основание на 10 частей. Начальное распределение температуры показано в таблице 3.

Таблица 3 – Начальное распределение температуры в ограждающей конструкции с основанием 0,25 м.

Номер сечения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Значение температуры, °C	-5,21	-3,38	-1,54	0,29	2,14	3,97	5,81	7,65	9,48	11,32	13,16

Используя систему уравнений (17), определяются температуры в сечениях кирпичной ограждающей конструкции. Шаг по времени был принят равным 60 секундам. Стационарный режим устанавливается спустя 204180 секунд или через 2,36 дня. Значения температур при достижении стационарного температурного поля показаны в таблице 4.

Таблица 4 – Значения температур при достижении стационара в ограждающей конструкции с основанием 0,25 м.

Номер сечения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Значение температуры, °C	-21,72	-18,68	-15,64	-12,59	-9,56	-6,52	-3,48	-0,44	2,60	5,64	8,68

Распределение в сечениях температуры через определенные промежутки времени в кирпичной ограждающей конструкции с основанием 0,25 м представлены на рисунке 4.

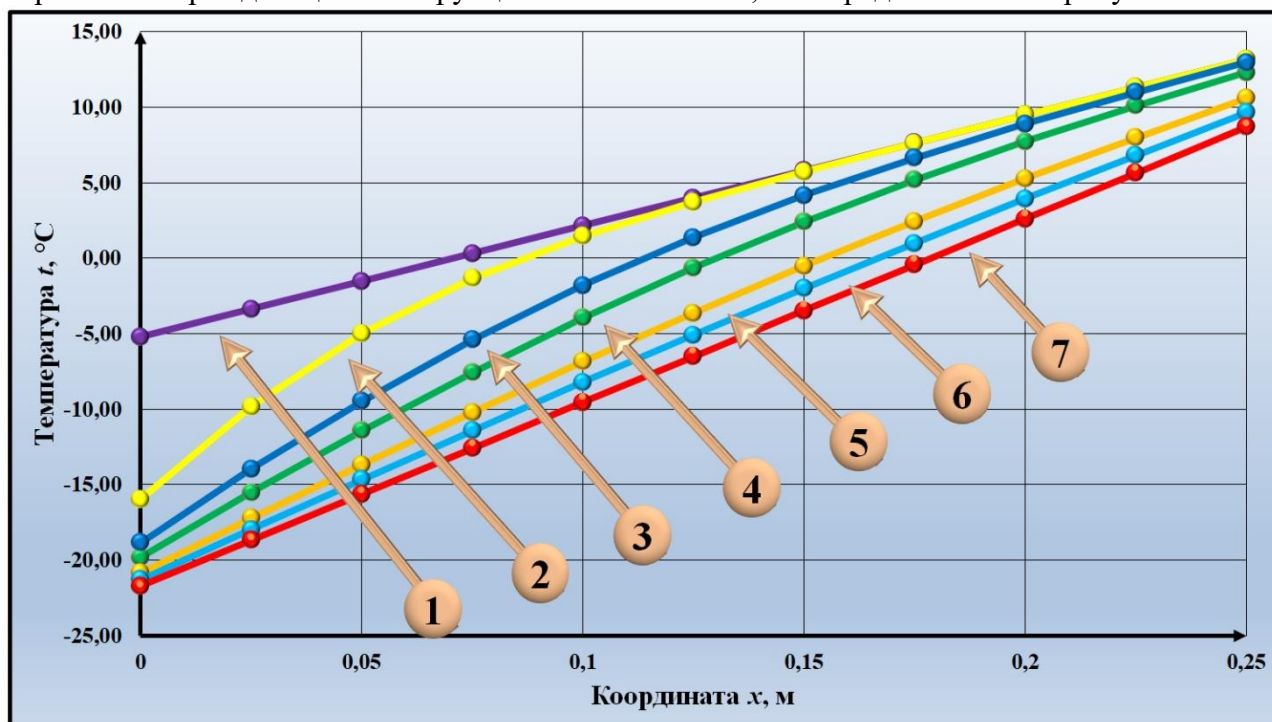


Рисунок 4 – Распределение температуры в сечениях ограждающей кирпичной конструкции с основанием 0,25 м с течением времени

1 – начальное распределение температуры; 2 – значения температур в сечениях через 1 час; 3 – значения температур в сечениях через 3 часа; 4 – значения температур в сечениях через 5 часов; 5 – значения температур в сечениях через 10 часов; 6 – значения температур в сечениях через 15 часов; 7 – значения температур в сечениях при достижении стационара

Аналогично рассматриваем ограждающую кирпичную конструкцию с основанием в 0,51 м. Шаг деления основания принимаем равным 15. В таблице 5 представлено начальное распределение температуры.

Таблица 5 – Начальное распределение температуры в ограждающей конструкции с основанием 0,51 м.

Номер сечения	1	2	3	4	5	6	7	8
Значение температуры, °C	-6,27	-4,79	-3,31	-1,82	-0,34	1,14	2,62	4,09

Номер сечения	9	10	11	12	13	14	15	16
Значение температуры, °C	5,58	7,06	8,54	10,02	11,50	12,98	14,46	15,95

Значения температур в сечениях ограждающей конструкции получаются путем решения системы уравнений (17). Шаг изменения по времени принимается равным 60 секундам. В итоге стационарный режим наступает спустя 585360 секунд или 6,78 дня. Значения температур при достижении стационарного температурного поля показаны в таблице 6.

Таблица 6 – Значения температур при достижении стационара в ограждающей конструкции с основанием 0,51 м.

Номер сечения	1	2	3	4	5	6	7	8
Значение температуры, °C	-23,46	-21,01	-18,56	-16,11	-13,66	-11,21	-8,76	-6,31

Номер сечения	9	10	11	12	13	14	15	16
Значение температуры, °C	-3,86	-1,41	1,04	3,49	5,94	8,39	10,84	13,39

Распределение температур в сечениях кирпичной ограждающей конструкции через определенные промежутки времени показаны на рисунке 5.

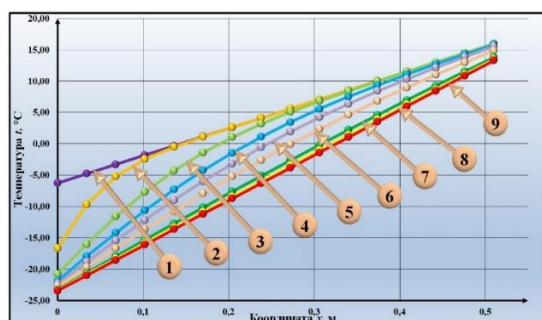


Рисунок 5 – Распределение температур в сечениях ограждающей кирпичной конструкции с основанием 0,51 м с течением времени

1 – начальное распределение температуры; 2 – значения температур в сечениях через 1 час; 3 – значения температур в сечениях через 5 часов; 4 – значения температур в сечениях через 10 часов; 5 – значения температур в сечениях через 15 часов; 6 – значения температур в сечениях через 24 часа; 7 – значения температур в сечениях через 48 часов; 8 – значения температур в сечениях через 72 часа; 9 – значения температур в сечениях при достижении стационара

Согласно методу нестационарного влажностного режима, основанном на потенциале влажности [33–35] эксплуатационное значение влажности материала в самом холодном месяце – январе равно 0,22 %. По зависимости теплопроводности от влажности материала (20) находится значение теплопроводности 0,59 Вт/(м·°C) (таблица 7).

Таблица 7 – Значения влажности материала и соответствующие им значения теплопроводности

$w_0, \%$	$\lambda_0, \text{Вт/(м·°C)}$	$w_{\text{экс}}, \%$	$\lambda_{\text{экс}}, \text{Вт/(м·°C)}$	$w_A, \%$	$\lambda_A, \text{Вт/(м·°C)}$	$w_B, \%$	$\lambda_B, \text{Вт/(м·°C)}$
0	0,56	0,22	0,59	1	0,7	2	0,81

Рассмотрим ограждающую кирпичную конструкцию с основанием 0,51 м с учетом найденной теплопроводности при соответствующей влажности. Поделим исследуемую стену на 15 частей. Начальное распределение температуры представлено в таблице 8

Таблица 8 – Начальное распределение температуры в ограждающей конструкции с основанием 0,51 м.

Номер сечения	1	2	3	4	5	6	7	8
Значение температуры, °C	-6,62	-5,05	-3,49	-1,92	-0,35	1,21	2,78	4,35

Номер сечения	9	10	11	12	13	14	15	16
Значение температуры, °C	5,91	7,48	9,04	10,61	12,18	13,74	15,31	16,88

Согласно системе уравнений (17) получим значения температур в сечениях ограждающей кирпичной конструкции. Шаг по времени составляет 60 секунд. В результате стационарный режим был достигнут через 585360 секунд или 6,78 дней. Результаты температур при достижении стационара показаны в таблице 9.

Таблица 9 – Значения температур при достижении стационара в ограждающей конструкции с основанием 0,51 м.

Номер сечения	1	2	3	4	5	6	7	8
Значение температуры, °C	-24,04	-21,45	-18,86	-16,27	-13,68	-11,09	-8,49	-5,90

Номер сечения	9	10	11	12	13	14	15	16
Значение температуры, °C	-3,31	-0,72	1,87	4,46	7,06	9,65	12,24	14,83

На рисунке 6 показано распределение температуры в сечениях ограждающей конструкции при эксплуатационном значении теплопроводности.

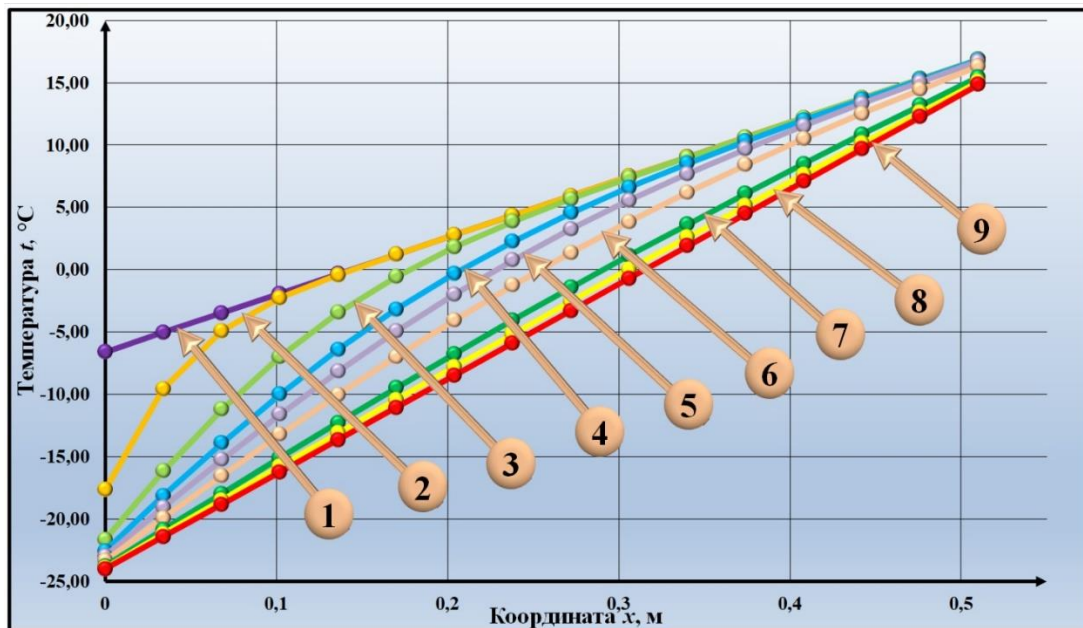


Рисунок 6 – Распределение температуры в сечениях ограждающей кирпичной конструкции с основанием 0,51 м с течением времени

1 – начальное распределение температуры; 2 – значения температур в сечениях через 1 час; 3 – значения температур в сечениях через 5 часов; 4 – значения температур в сечениях через 10 часов; 5 – значения температур в сечениях через 15 часов; 6 – значения температур в сечениях через 24 часа; 7 – значения температур в сечениях через 48 часов; 8 – значения температур в сечениях через 72 часа; 9 – значения температур в сечениях при достижении стационара

Если сравнить полученные значения времени при достижении стационарного температурного поля для однослойной кирпичной стены с основанием 0,51 м, то быстрее стационарный температурный режим был достигнут в случае теплопроводности при эксплуатации Б.

4. Выводы

На основании полученных данных можно сделать следующие выводы. При увеличении толщины ограждающей конструкции увеличивается время, за которое температура в сечениях конструкции достигает стационарных значений. Также при изменении теплопроводности с значения при эксплуатации Б на теплопроводность при эксплуатируемой влажности, конструкция дольше выходит на стационарное температурное поле.

Благодарности

Исследование выполнено за счет средств государственной программы Российской Федерации «Научно-технологическое развитие Российской Федерации» в рамках плана фундаментальных научных исследований Минстроя России и РААСН (фундаментальное научное исследование № 3.1.4.11 «Исследование нестационарного тепло-влажностного состояния ограждающих конструкций зданий с применением теории потенциала влажности» на 2024–2026 годы).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Радин В.П., Позняк Е.В., Новикова О.В. Реакция модели здания со снижением жесткости на длиннопериодные сейсмические воздействия // Вестник Московского энергетического института. Вестник МЭИ. – 2019. – № 6. – С. 124-130. – DOI 10.24160/1993-6982-2019-6-124-130.

2. Лихачев А.А., Усольцева О.А. Обзор и сравнение современных отечественных и зарубежных методов оценки технического состояния зданий и сооружений / А. А. Лихачев, // Инженерный вестник Дона. – 2022. – № 10(94). – С. 1-12.
3. González-Rodrigo B., Navas-Sánchez L., Rejas-Ayuga J.G., Hernández-Rubio O., Benito M.B. Preliminary Geospatial and In Situ Reconnaissance of the 8 September 2023 Moroccan Atlas Earthquake Damage // Buildings 2024. – Том. 14(3). – No. 693. <https://doi.org/10.3390/buildings14030693>
4. Huang Y., Tu R., Tuerxun W., Jia X., Zhang X., Chen X. A Community Information Model and Wind Environment Parametric Simulation System for Old Urban Area Microclimate Optimization: A Case Study of Dongshi Town, China // Buildings 2024. – Vol. 14(3). – No. 832. <https://doi.org/10.3390/buildings14030832>
5. Medinilha-Carvalho T.A., Marques da Silva F.V., Bre F., Gimenez J.M., Labaki L.C. Experimental Study of Wind Pressures on Low-Rise H-Shaped Buildings // Buildings. – 2024. – Vol. 14(3). – No. 762. <https://doi.org/10.3390/buildings14030762>
6. Karvelis A.C., Dimas A.A., Gantes C.J. Unsteady Numerical Simulation of Two-Dimensional Airflow over a Square Cross-Section at High Reynolds Numbers as a Reduced Model of Wind Actions on Buildings // Buildings. – 2024. – Vol. 14(3). – No. 561. <https://doi.org/10.3390/buildings14030561>
7. Сазонов А. К., Сухарев Г. В., Белявская О. Ш. Трехмерное моделирование температурных полей в угловых зонах наружных стен // Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений. – 2023. – № 6-2(67). – С. 34-36.
8. Kokaya D., Zaborova D., Koriakovtseva T. Environmental analysis of residential exterior wall construction in temperate climate // Magazine of Civil Engineering. – 2023. – No. 8 (124). – P. 114-122. DOI 10.34910/MCE.124.10.
9. Habibi A., Kahe N. Evaluating the Role of Green Infrastructure in Microclimate and Building Energy Efficiency // Buildings. – 2024. – Vol. 14(3). – No. 825. <https://doi.org/10.3390/buildings14030825>
10. Sun W., Chen L., Suolang B., Liu K. An Investigation of the Energy-Saving Optimization Design of the Enclosure Structure in High-Altitude Office Buildings // Buildings. – 2024. – Vol. 14(3). – No. 645; <https://doi.org/10.3390/buildings14030645>
11. Лысова Е.П., Котлярова Е.В. Основы обеспечения экологической безопасности строительных материалов на всех этапах их жизненного цикла // Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий. – 2023. – Т. 2. – № 2. – С. 72-80. DOI 10.23947/2949-1835-2023-2-2-72-80.
12. Самарская Н.С., Котлярова Е.В., Лысова Е.П. Основные научные принципы системного подхода к определению негативных факторов, воздействующих на окружающую среду городских территорий // Безопасность техногенных и природных систем. – 2023. – Т. 7. – № 4. – С. 20-29. DOI 10.23947/2541-9129-2023-7-4-20-29.
13. Kotlyarova E. Improving the methodology for assessing the level of environmental safety of urban areas as the basis of their life cycle // E3S Web of Conferences. – 2023. – Vol. 389. – No. 09062. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202338909062>
14. Лушин К.И., Войтович Е.В. Мультимодальность подхода решения задач энергоэффективности городского хозяйственного комплекса // Международный технико-экономический журнал. – 2022. – № 5-6. – С. 7-17. DOI 10.34286/1995-4646-2022-86-5/6-7-17.
15. Sevryugina N.S., Apatenko A.S. Import Substitution and Monitoring of Workpiece Quality // Russian Engineering Research. – 2023. – Vol. 43. – No. 8. – P. 927-933. DOI 10.3103/s1068798x23080294.
16. Минченков Н.Д., Чуракова С.К. Дифференциальное уравнение теплопроводности и конвективного теплообмена в цилиндрической системе координат // Башкирский химический журнал. – 2024. – №1 (31). – С. 96-100.
17. Nemova D., Kotov E., Andreeva D., Khorobrov S., Olshevskiy V., Vasileva I., Zaborova D., Musorina T. Experimental Study on the Thermal Performance of 3D-Printed Enclosing Structures // Energies. – 2022. – Vol. 15(12). – No. 4230. <https://doi.org/10.3390/en15124230>
18. Musorina T., Gamayunova O., Petrichenko M., Soloveva E. Boundary Layer of the Wall Temperature Field // Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2020. – Vol. 1116 AISC. – P. 429-437. DOI:10.1007/978-3-030-37919-3_42
19. Zaborova D.D., Kozinec G.L., Musorina T.A., Petrichenko M.R. Mathematical Model for Unsteady Flow Filtration in Homogeneous Closing Dikes // Power Technology and Engineering. – 2020. – Vol. 54(3). – P. 358–364. DOI:10.1007/s10749-020-01216-9
20. Petrichenko M.R., Musorina T.A. Fractional differentiation operation in the Fourier boundary problems // St. Petersburg State Polytechnical University Journal: Physics and Mathematics. – 2020. – Vol. 13(2). – P. 41–52. DOI: 10.18721/JPM.13204
21. Statsenko E.A., Musorina T.A., Ostrovaia A.F., Olshevskiy V.Ya., Antuskov A.L. Moisture transport in the ventilated channel with heating by coil // Magazine of Civil Engineering. – 2017. – 70(2). – P. 11–17. DOI:10.18720/MCE.70.2
22. Gamayunova O., Petrichenko M., Mottaeva A. Thermotechnical calculation of enclosing structures of a standard type residential building // Journal of Physics: Conference Series. – 2020. – Vol. 1614(1). – No. 012066. DOI 10.1088/1742-6596/1614/1/012066

23. Gamayunova O., Golov R. Potential of energy saving on transport // E3S Web of Conferences. – 2019. – Vol. 135. – No. 02025. DOI:10.1051/e3sconf/201913502025
24. Канарейкин А.И. Распределение температуры в полом теле эллиптического сечения при граничных условиях первого и третьего рода // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. – 2023. – № 9. – С. 10-14.
25. Белов А.В., Ильин Ю.П., Кузьмина Н.Ю., Скородумова Н.В. Решение уравнения теплопроводности для горизонтальной БГУ при внутреннем источнике тепла // АПК России. – 2019. – Т. 26, № 2. – С. 177-184.
26. Канарейкин А.И. Стационарное температурное поле в прямоугольной пластине с переменной теплопроводностью по одной координате // Вестник Международной академии холода. – 2023. – № 1. – С. 99-104. – DOI 10.17586/1606-4313-2023-22-1-99-104.
27. Канарейкин А.И. Определение температурного поля термоэлемента в виде пластины при нестационарном режиме // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. – 2023. – № 4. – С. 11-16.
28. Видин Ю.В., Казаков Р.В., Злобин В.С. Процесс переноса тепла в двухслойном цилиндрическом теле // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2018. – Т. 20, № 11-12. – С. 93-98. – DOI 10.30724/1998-9903-2018-20-11-12-93-98.
29. Якимов Н.Д., Шагеев А.Ф., Дмитриев А.В., Бадретдинова Г.Р. Особенности расчета температурного поля в кольцевом пористом слое при бесконечном нагреве // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2023. – Т. 25. – № 6. – С. 54-66.
30. Бейбалаев В. Д., Аливердиев А. А. Исследование температурного поля в пластине одномерным нелинейным уравнением теплопроводности // Вестник Дагестанского государственного университета. Серия 1: Естественные науки. – 2022. – Т. 37. – № 1. – С. 12-17.
31. Kubacka E., Ostrowski P., Influence of Composite Structure on Temperature Distribution—An Analysis Using the Finite Difference Method // Materials. – 2023. – Vol. 16. – No. 5193.
32. Saadeh R, Sedeeg A.K, Ghazal B., Gharib G. Double Formable Integral Transform for Solving Heat Equations // Symmetry. – 2023. – Vol. 15. – No. 218.
33. Zubarev K.P. Taking into account moisture in increasing the accuracy of calculating heat losses of a building // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2024. – Vol. 20. – No. 1. – P. 150-161. DOI:10.22337/2587-9618-2024-20-1-154-161
34. Zubarev K.P. Derivation of the equation of unsteady-state moisture behaviour in the enclosing structures of buildings using a discrete-continuous approach // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2021. – Vol. 17. – No. 4. – P. 83-90. DOI:10.22337/2587-9618-2021-17-4-83-90
35. Zubarev K.P. Using discrete-continuous approach for the solution of unsteady-state moisture transfer equation for multilayer building walls // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2021. – Vol. 17. – No. 2. – P. 50-57. DOI:10.22337/2587-9618-2021-17-2-50-57

REFERENCES

1. Radin V.P., Poznyak E.V., Novikova O.V. Reaktsiya modeli zdaniya so snizheniyem zhestkosti na dlinnoperiodnyye seysmicheskiye vozdeystviya [The dynamic response of a building model with decreasing stiffness during long-period earthquakes]. *Bulletin of Moscow energy institute. Bulletin of MEI*. 2019. No. 6. – Pp. 124-130. – DOI 10.24160/1993-6982-2019-6-124-130.(rus.)
2. Likhachev A.A., Usoltseva O.A. Obzor i sravneniye sovremennykh otechestvennykh i zarubezhnykh metodov otsenki tekhnicheskogo sostoyaniya zdaniy i sooruzheniy [Review and comparison of modern domestic and foreign methods of assessing the technical condition of buildings and structures]. *Engineering bulletin of the Don*. 2022. – No. 10(94). – Pp. 1-12.
3. González-Rodrigo B., Navas-Sánchez L., Rejas-Ayuga J.G., Hernández-Rubio O., Benito M.B. Preliminary Geospatial and In Situ Reconnaissance of the 8 September 2023 Moroccan Atlas Earthquake Damage. *Buildings* 2024. Vol. 14(3). No. 693. <https://doi.org/10.3390/buildings14030693>
4. Huang Y., Tu R., Tuerxun W., Jia X., Zhang X., Chen X. A Community Information Model and Wind Environment Parametric Simulation System for Old Urban Area Microclimate Optimization: A Case Study of Dongshi Town, China. *Buildings* 2024. Vol. 14(3). –No. 832. <https://doi.org/10.3390/buildings14030832>
5. Medinilha-Carvalho T.A., Marques da Silva F.V., Bre F., Gimenez J.M., Labaki L.C. Experimental Study of Wind Pressures on Low-Rise H-Shaped Buildings. *Buildings*. 2024. Vol. 14(3). No. 762. <https://doi.org/10.3390/buildings14030762>
6. Karvelis A.C., Dimas A.A., Gantes C.J. Unsteady Numerical Simulation of Two-Dimensional Airflow over a Square Cross-Section at High Reynolds Numbers as a Reduced Model of Wind Actions on Buildings. *Buildings*. 2024. Vol. 14(3). No. 561. <https://doi.org/10.3390/buildings14030561>

7. Sazonov A.K., Sukharev G.V., Beljavskaja O.S. Trekhmernoye modelirovaniye temperaturnykh poley v uglovyykh zonakh naruzhnykh sten [Three-dimensional modeling of temperature fields in the corner zones of exterior walls] *Natural and technogenic risks. Safety of structures*. 2023. No. 6-2(67). – Pp. 34-36.(rus.)
8. Kokaya D., Zaborova D., Koriakovtseva T. Environmental analysis of residential exterior wall construction in temperate climate. *Magazine of Civil Engineering*. 2023. No. 8 (124). Pp. 114-122. DOI 10.34910/MCE.124.10.(rus.)
9. Habibi A., Kahe N. Evaluating the Role of Green Infrastructure in Microclimate and Building Energy Efficiency. *Buildings*. 2024. Vol. 14(3). No. 825. <https://doi.org/10.3390/buildings14030825>
10. Sun W., Chen L., Suolang B., Liu K. An Investigation of the Energy-Saving Optimization Design of the Enclosure Structure in High-Altitude Office Buildings. *Buildings*. 2024. Vol. 14(3). No. 645; <https://doi.org/10.3390/buildings14030645>
11. Lysova E.P., Kotlyarova E.V. Osnovy obespecheniya ekologicheskoy bezopasnosti stroitel'nykh materialov na vseh etapakh ikh zhiznennogo tsikla [Fundamentals of ensuring the environmental safety of building materials at all stages of their life cycle]. *Modern trends in construction, urban planning and territory planning*. 2023. Vol. 2. No. 2. – Pp. 72-80. DOI 10.23947/2949-1835-2023-2-2-72-80.(rus.)
12. Samarskaya N.S., Kotlyarova E.V., Lysova E.P. Osnovnyye nauchnyye printsipy sistemnogo podkhoda k opredeleniyu negativnykh faktorov, vozdeystviyushchikh na okruzhayushchuyu sredu gorodskikh territoriy [Main scientific principles of a systematic approach to the determination of negative factors affecting urban environment] *Safety of technogenic and natural systems*. 2023. Vol. 7. No. 4. – Pp. 20-29. DOI 10.23947/2541-9129-2023-7-4-20-29.(rus.)
13. Kotlyarova E. Improving the methodology for assessing the level of environmental safety of urban areas as the basis of their life cycle. *E3S Web of Conferences*. 2023. Vol. 389.No. 09062. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202338909062>
14. Lushin K.I. Voitovich E.V. Mul'timodal'nost' podkhoda resheniya zadach energoeffektivnosti gorodskogo khozyaystvennogo kompleksa [Multimodality of the approach to solving problems of energy efficiency of the urban economic complex]. *International technical and economic journal*. 2022. – No. 5-6. – Pp. 7-17. DOI 10.34286/1995-4646-2022-86-5/6-7-17.(rus.)
15. Sevryugina N.S., Apatenko A.S. Import Substitution and Monitoring of Workpiece Quality. *Russian Engineering Research*. 2023. Vol. 43. No. 8. Pp. 927-933. DOI 10.3103/s1068798x23080294.(rus.)
16. Minchenkov N.D., Churakova S.K. Differentsial'noye uravneniye teploprovodnosti i konvektivnogo teploobmena v tsilindricheskoy sisteme koordinat [Differential equation of thermal conductivity and convective heat transfer in a cylindrical coordinate system]. *Bashkir Chemical Journal*. 2024. No. 1 (31). Pp. 96-100.(rus.)
17. Nemova D., Kotov E., Andreeva D., Khorobrov S., Olshevskiy V., Vasileva I., Zaborova D., Musorina T. Experimental Study on the Thermal Performance of 3D-Printed Enclosing Structures. *Energies*. 2022. Vol. 15(12). No. 4230. <https://doi.org/10.3390/en15124230> (rus.)
18. Musorina T., Gamayunova O., Petrichenko M., Soloveva E. Boundary Layer of the Wall Temperature Field. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2020. Vol. 1116 AISC. Pp. 429-437. DOI:10.1007/978-3-030-37919-3_42(rus.)
19. Zaborova D.D., Kozinec G.L., Musorina T.A., Petrichenko M.R. Mathematical Model for Unsteady Flow Filtration in Homogeneous Closing Dikes. *Power Technology and Engineering*. 2020. Vol. 54(3). Pp. 358–364. DOI:10.1007/s10749-020-01216-9(rus.)
20. Petrichenko M.R., Musorina T.A. Fractional differentiation operation in the Fourier boundary problems. *St. Petersburg State Polytechnical University Journal: Physics and Mathematics*. 2020. Vol. 13(2). Pp. 41–52. DOI: 10.18721/JPM.13204(rus.)
21. Statsenko E.A., Musorina T.A., Ostrovaia A.F., Olshevskiy V.Ya., Antuskov A.L. Moisture transport in the ventilated channel with heating by coil. *Magazine of Civil Engineering*. 2017. No.70(2).Pp. 11–17. DOI:10.18720/MCE.70.2(rus.)
22. Gamayunova O., Petrichenko M., Mottaeva A. Thermotechnical calculation of enclosing structures of a standard type residential building. *Journal of Physics: Conference Series*. 2020. Vol. 1614(1). No. 012066. DOI 10.1088/1742-6596/1614/1/012066(rus.)
23. Gamayunova O., Golov R. Potential of energy saving on transport. *E3S Web of Conferences*. 2019. Vol. 135. No. 02025. DOI:10.1051/e3sconf/201913502025
24. Kanareykin A.I. Raspredeleniye temperatury v polom tele ellipticheskogo secheniya pri granichnykh usloviyakh pervogo i tret'yego roda [Temperature distribution in a hollow body of elliptical section under boundary conditions of the first and third kind]. *Forging and stamping production. Pressure processing of materials*. – 2023. – No. 9. – P. 10-14.(rus.)
25. Belov A.V., Ilyin Yu.P., Kuzmina N.Yu., Skorodumova N.V. Resheniye uravneniya teploprovodnosti dlya gorizonta'lnoy BGU pri vnutrennem istochnike tepla [Heat equation solution for the horizontal biogas unit with an internal heat source]. *Agroindustrial complex of Russia*. 2019. Vol. 26, No. 2. Pp. 177-184.(rus.)
26. Kanareikin A.I. Statsionarnoye temperaturnoye pole v pryamougol'noy plastine s peremennoy teploprovodnost'yu po odnoy koordinate [Stationary temperature field in a rectangular plate with variable thermal conductivity in one coordinate]. *Bulletin of the International Academy of Refrigeration*. 2023. No. 1. Pp. 99-104. – DOI 10.17586/1606-4313-2023-22-1-99-104.(rus.)

27. Kanareikin A.I. Opredeleniye temperaturnogo polya termoelementa v vide plastiny pri nestatsionarnom rezhime [Determination of the temperature field of a thermoelectric element in the form of a plate in the two-dimensional case in a non-stationary mode]. *Forging and stamping production. Processing of materials by pressure*. 2023. No. 4. Pp. 11-16.(rus.)
28. Vidin Yu.V., Kazakov R.V., Zlobin V.S. Protsess perenosa tepla v dvukhsloynnom tsilindricheskom tele [The process of heat transfer in a two-layer cylindrical body]. *News of higher educational institutions. Energy problems*. 2018. Vol. 20. No. 11-12. – Pp. 93-98. – DOI 10.30724/1998-9903-2018-20-11-12-93-98.
29. Yakimov N.D., Shageev A.F., Dmitriev A.V., Badretdinova G.R. Osobennosti rascheta temperaturnogo polya v kol'tsevom poristom sloye pri beskonechnom nagreve [Features of calculating the temperature field in an annular porous layer under infinite heating]. *News of higher educational institutions. Energy problems*. 2023. Vol. 25. No. 6. – Pp. 54-66.
30. Beibalaev V.D., Aliverdiev A.A. Issledovaniye temperaturnogo polya v plastine odnomernym nelineynym uravneniyem teploprovodnosti [Investigation of the temperature field in a plate by a one-dimensional nonlinear heat equation]. *Bulletin of Dagestan State University. Series 1: Natural Sciences*. 2022. Vol. 37. No. 1. Pp. 12-17.(rus.)
31. Kubacka E., Ostrowski P., Influence of Composite Structure on Temperature Distribution—An Analysis Using the Finite Difference Method. *Materials*. 2023. Vol. 16. No. 5193.
32. Saadeh R, Sedeeg A.K, Ghazal B., Gharib G. Double Formable Integral Transform for Solving Heat Equations. *Symmetry*. 2023. Vol. 15. No. 218.
33. Zubarev K.P. Taking into account moisture in increasing the accuracy of calculating heat losses of a building. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2024. Vol. 20. No. 1. – Pp. 150-161. DOI:10.22337/2587-9618-2024-20-1-154-161(rus)
34. Zubarev K.P. Derivation of the equation of unsteady-state moisture behaviour in the enclosing structures of buildings using a discrete-continuous approach. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2021. Vol. 17. No. 4. – P. 83-90. DOI:10.22337/2587-9618-2021-17-4-83-90 (rus.)
35. Zubarev K.P. Using discrete-continuous approach for the solution of unsteady-state moisture transfer equation for multilayer building walls. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2021. Vol. 17. No. 2. Pp. 50-57. DOI:10.22337/2587-9618-2021-17-2-50-57 (rus.)

Информация об авторах:

Зубарев Кирилл Павлович

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия,
доцент кафедры общей и прикладной физики, преподаватель кафедры теплогазоснабжения и вентиляции;
Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук», г. Москва, Россия,
старший научный сотрудник лаборатории строительной теплофизики;
Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы, г. Москва, Россия,
доцент кафедры технологий строительства и конструкционных материалов,
E-mail: zubarevki93@mail.ru

Сапронова Юлия Александровна

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия,
Студент института гидротехнических и энергетических сооружений.
E-mail: ho5metown@gmail.com

Алиханова Зумруд Рамазановна

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия,
Студент института архитектуры и градостроительства.
E-mail: annarostova12@gmail.com

Зобнина Юлия Сергеевна

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия,
студент Института промышленного и гражданского строительства/
E-mail: selma.inufo@gmail.com

Будник Фёдор Алексеевич

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ),
г. Москва, Россия,
студент Института промышленного и гражданского строительства.
E-mail: f33440508@gmail.com

Федосеев Владимир Дмитриевич

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ),
г. Москва, Россия,
студент Института инженерно-экологического строительства и механизации;
E-mail: fedosseev.vs@gmail.com

Information about authors:

Zubarev Kirill Pavlovich

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,
Candidate of Tech. Sc., associate professor of the department of General and Applied Physics, Lecturer in the Department of Heat and Gas Supply and Ventilation;
Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences 127238, Moscow, Russia Moscow, Lokomotivny proezd, 21,
Senior Researcher of the Scientific Laboratory of Building Thermal Physics;
RUDN University 117198, Moscow, Russia Moscow, st. Miklouho-Maclay, 6,
Associate Professor of the Department of Construction Technology and Structural Materials, Leading Researcher of the Scientific Center of Engineering and Construction Technologies.
E-mail.: zubarevkirill93@mail.ru

Sapronova Yulia Aleksandrovna

Moscow State University of Civil Engineering Moscow, Russia,
Student of the Institute of Hydraulic and Energy Structures.
E-mail: ho5metown@gmail.com

Alikhanova Zumrud Ramazanovna

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,
Student of the Institute of Architecture and Urban Planning.
E-mail: annarostova12@gmail.com

Zobnina Yulia Sergeevna

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,
Student of the Institute of Industrial and Civil Engineering.
E-mail: selma.inufo@gmail.com

Budnik Fedor Alekseevich

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,
Student of the Institute of Industrial and Civil Engineering.
E-mail: f33440508@gmail.com

Fedosseev Vladimir Dmitrievich

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,
Student of the Institute of Engineering and Ecological Construction and Mechanization.
E-mail: fedosseev.vs@gmail.com